2018

KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

Faktoren des Klimasystems der Erde

Klimawandel #kurzerklärt ist im Rahmen eines Studienprojektes des Fachbereichs Geowissenschaften der Universität Bremen in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie entstanden. Wir hoffen ein bisschen Licht ins Dunkel zu bringen, komplexe Prozesse auf die wesentlichen Fakten runterzubrechen und so Lust auf mehr zu machen. Die nächsten 10 Seiten stellen je einen Faktor im Klimasystem der Erde dar und erläutern, welche Rolle er im Klimawandel spielt.

Klimawandel #kurzerklärt richtet sich an alle Altersgruppen, von 15 Jahren aufwärts – das Teilen ist ausdrücklich erwünscht.

Autorin: Naomi Esken
Layout und Grafiken: Alina Esken



VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

1. Klimasystem

Um den Klimawandel zu verstehen, muss man das Klima als ein System begreifen, das sich kontinuierlich verändert. Beginnen wir mit einigen grundlegenden Definitionen:

Was ist Wetter, Witterung und Klima?

Wetter ist der momentane Zustand der Atmosphäre (zeigt sich durch **Niederschlag, Wind und Temperatur**), da geht es um Stunden oder Tage.

Witterung beschreibt den Zustand der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum, zum Beispiel eine Jahreszeit.

Klima ist der Zustand der Atmosphäre über Jahrzehnte hinweg.

Deswegen kann sich das Klima seit der Industrialisierung Mitte des 18. Jahrhunderts verändert haben und die Veränderung der Witterung mag sich in wärmeren Wintern niederschlagen. Aber ob sich das Wetter langfristig ändert, lässt sich aber schwerer erkennen, da einzelne Tage ein sehr kurzer Zeitraum zum Vergleich sind.

Das Klima entsteht über ein Zusammenspiel der Prozesse im Wasser, an Land, in der Atmosphäre und deren Organismen. Diese drei Lebensräume tauschen untereinander Wärme, Feuchtigkeit, Energie und Gase aus. Der Austausch unterscheidet sich, je nachdem welchen Breitengrad auf der Erde man betrachtet - also wie weit nördlich oder südlich ein Ort sich befindet:

Hohe Breiten – Polarregionen
Mittlere Breiten – gemäßigte Zonen
Niedrige Breiten – Tropen

Die Breitengerade unterscheiden sich vor allem in der Menge an Sonnenenergie, die sie erreicht.

Klimawandel heute

Die klimatischen Veränderungen in den jeweiligen Gebieten werden angetrieben durch Faktoren wie Vulkanausbrüche oder Schwankungen der Sonnenenergie, die auf die Erde trifft. Außerdem gehört noch die Temperatur, die Regenmenge, Wind und Meeresströmungen dazu. Der anthropogene Einfluss, also der Einfluss des Menschen, betrifft vor allem die Zusammensetzung der Atmosphäre und die Landnutzung.

Das Klimasystem ist hochkomplex und nur als interdisziplinäres Forschungsfeld zu verstehen. Die Abbildung auf der rechten Seite skizziert die Komplexität des Systems - Lebensräume, wie Wasser, Atmosphäre und das Land sind miteinander verknüpft, werden aber durch ihre Lage in den Tropen, polaren Regionen oder mittleren Breiten beeinflusst. Diese Gegenden beeinflussen sich wiederum gegenseitig und bilden einen Kreislauf. Organismen, die am Land und im Ozean leben haben einen besonders großen Einfluss auf das Klimasystem.

KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

Physik & Astronomie

2. Bewegung der Erde um die Sonne *oder Milankovic Zyklen*

Schon immer hat sich das Klima verändert. Sowohl Niederschlag und Wind als auch Meeresströmungen verändern sich, wenn die Temperatur steigt oder sinkt. Den größten Einfluss auf die Temperatur hat die Sonne: Nachts ist es kälter als tagsüber und Winter sind kälter als Sommer. Aber abgesehen von der Drehung der Erde um sich selbst (Tag und Nacht) und der Rotation um die Sonne (Jahreszeiten) gibt es noch drei weitere Kreisläufe, die die Temperatur beeinflussen und dadurch das Klima verändern. Man nennt sie Milankovic-Zyklen oder Präzession, Erdschiefe und Exzentrizität.

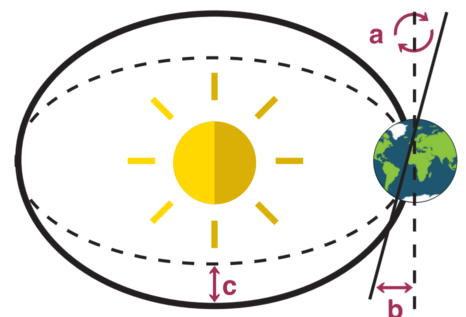
Was sind Milankovic-Zyklen?

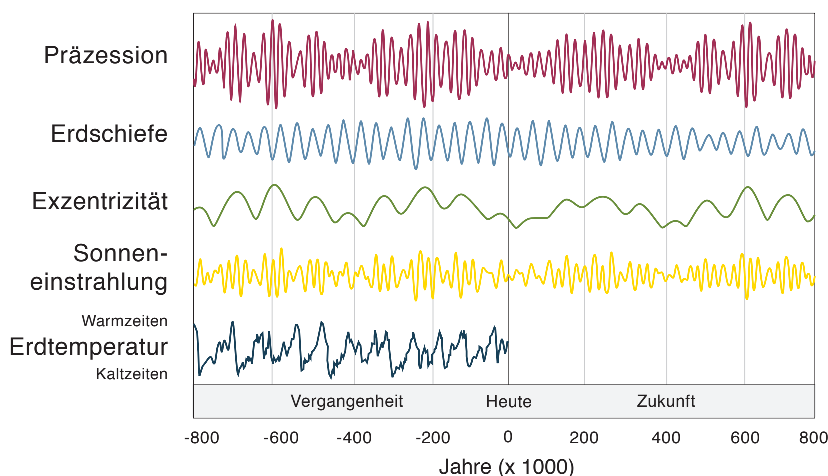
Die **Präzession (a)** beschreibt die relative Position der Erdrotationsachse um die Sonne - salopp gesagt, wie schräg oder gerade die Erde die Sonne umkreist.

Die **Erdschiefe (b)** stammt noch aus der Entstehungszeit des Planeten. Dass der Mond vor etwa 4,5 Milliarden Jahren mit der Erde kollidierte, ging nicht spurlos an ihr vorüber. Seitdem „pendelt" die Achse der Erde zwischen einer Schiefe von 22,1 und 24,5°. Dies hat vor allem Auswirkungen auf hohe Breitengrade, wie die Polarregionen. Bei 24,5° sind sie im Sommer sehr viel näher an der Sonne und im Winter sehr viel weiter weg als bei 22,1°. Folglich sind die Sommer dann wärmer und die Winter kälter. Momentan liegt die Erdschiefe mit 23,43° bei einem mittleren Wert und wird in 8.000 Jahren ihre geringste Schiefe erreichen.

Die **Exzentrizität (c)** beschreibt die Form der Umlaufbahn um die Sonne. Eine fast kreisförmige Umlaufbahn der Erde bedeutet eine niedrige Exzentrizität und wenig Sonneneinstrahlung, eine elliptische Umlaufbahn hohe Exzentrizität und viel Sonneneinstrahlung. Vereinfacht bedeutet eine Ellipse eine Warmzeit und eine Kreis eine Kaltzeit. Momentan wird die Umlaufbahn der Erde kreisförmiger und ist auf dem besten Wege zu einer Eiszeit.

Rotationszyklen der Erde	Zyklusdauer
Rotation um die eigene Achse (1 Tag)	**23h 56min 4,10sek**
Rotation um die Sonne (1 Jahr)	**365,2 Tage**
Präzession der Erdrotationsachse (a)	**circa 25 000 Jahre**
Erdschiefe (b)	**circa 41 000 Jahre**
Exzentrizität (c)	**circa 100 000 Jahre**





Links sind die Milankovic-Zyklen im Vergleich mit der Sonneneinstrahlung der Erde und Kalt- und Warmzeiten dargestellt. Wenn man genau hinschaut, sieht man, dass der Ausschlag der Zyklen schwankt. Das macht Vorhersagen schwierig.
Definitive Klimaprognosen kann man nicht allein auf diesen Zyklen aufbauen. Für Veränderungen gibt es noch weitere Gründe - zum Beispiel ist seit 1980 die Sonneneinstrahlung auf die Erde zurückgegangen, die Temperatur jedoch kontinuierlich gestiegen.

Klimawandel heute

KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

3. Treibhausgase und Temperatur

Treibhausgase beeinflussen die Temperatur auf der Erde, durch sie ist der Planet überhaupt erst bewohnbar. Treibhausgase lassen die kurzwellige Energie der Sonne durch zur Erde, absorbieren aber vom Planeten kommende langwellige Energie, die sonst ins Weltall entweichen würde. Und da mehr Energie bleibt, als entweicht, ist die Erde warm. Relevante Treibhausgase sind **Kohlenstoffdioxid (CO_2), Wasserdampf (H_2O) und Methan (CH_4)**. Der Kohlenstoff (C) spielt die tragende Rolle in der chemischen Reaktion von Treibhausgasen.

Was sind Prozesse der Treibhausgase?

Verschiedene Prozesse führen dazu, dass Treibhausgase ausgestoßen oder abgebaut werden. Ein Beispiel hierfür ist die Photosynthese, die bei Pflanzen stattfindet. Pflanzen nutzen CO_2, Wasser und Licht um Glukose und Sauerstoff zu produzieren. Menschen und Tiere atmen dann den Sauerstoff ein und stoßen CO_2 aus, das wiederum die Pflanzen nutzen können - und immer so weiter. Kohlenstoff wird aber auch über Vulkane, plattentektonische Verschiebung und die Verbrennung von organischem Material **in die Atmosphäre gepumpt** und durch Verwitterung von Gesteinen und die Vergrabung von organischem Material aus **dem System entfernt.** Diese Prozesse geschehen größtenteils auf großen geologischen Zeitskalen von mehreren Millionen Jahren.

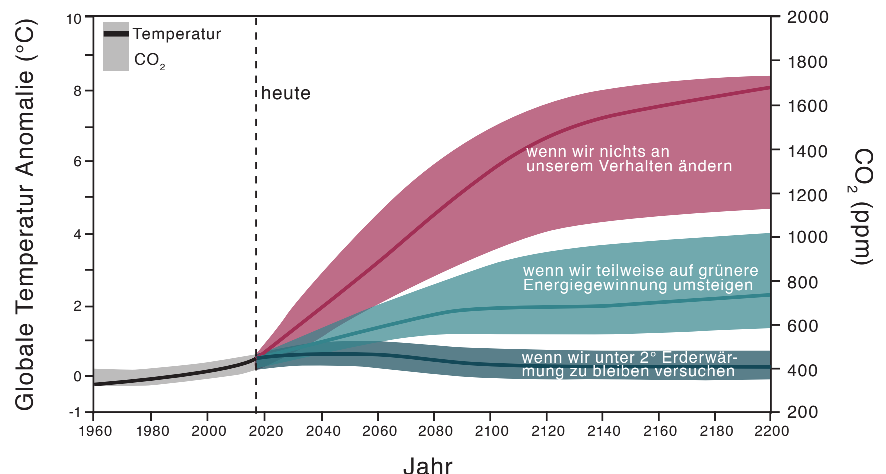
Klimawandel heute

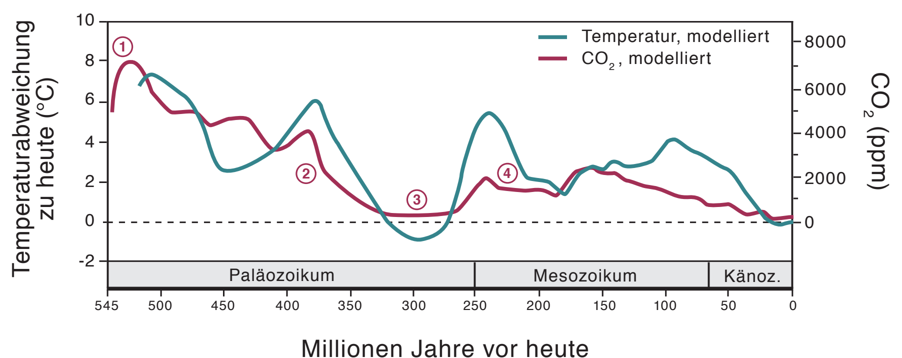
Da die Menschheit seit 200 Jahren immer mehr CO_2 produziert, kommt das natürliche System mit dessen Abbau und Entfernung aus der Atmosphäre nicht mehr hinterher. Seitdem steigt auch die Temperatur auf der Erde:

Prognosen, wie in der Abbildung rechts oben, deuten darauf hin, dass das CO_2 aus der Atmosphäre in Zukunft nicht schnell genug verarbeitet wird und deswegen auch die Temperatur weiter steigt.

Wie in der Abbildung unten rechts zu sehen, war der CO_2-Gehalt in der Atmosphäre in der Erdgeschichte fast immer höher, als er heute ist. Zu Beginn des Paläozoikums war es das **Auseinanderbrechen des Superkontinenten Rodinia** ①, das große Mengen CO_2 in die Atmosphäre entweichen lies. Dann jedoch entwickelten sich die ersten **Landpflanzen, die später zu großen Wälder wuchsen** ②. Sie haben wesentlich dazu beigetragen, den Kohlenstoff aus der Atmosphäre durch Photosynthese einzubauen und in den Tiefen der Erde zu vergraben. Damit wurde der Kohlenstoff aus dem klimawirksamen Kreislauf entfernt, die **Temperatur sank und es kam zu einer Vereisung** ③. Durch das **Auseinanderbrechen des Kontinenten Pangaea** ④ stieg der CO_2-Gehalt wieder, seitdem hat er sich auf dem heutigen Level eingependelt.

Der Mensch verbrennt zur Energiegewinnung natürlich vergrabene Pflanzen- und Organismenreste in Form von Kohle, Öl oder Gas. Dadurch pumpt er unnatürlicherweise das längst gebundene und aus dem System entfernte CO_2 wieder in die Atmosphäre und verändert das Klima.





KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

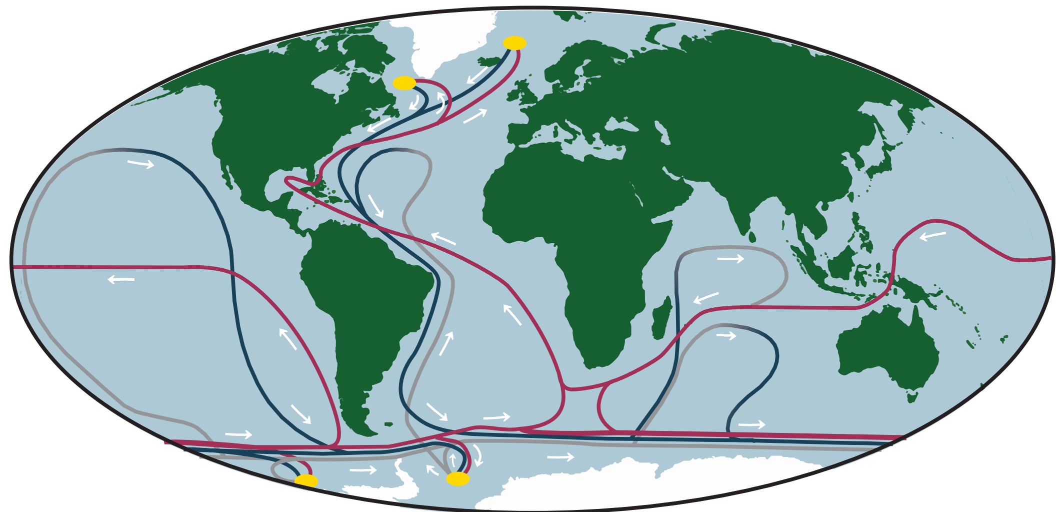
4. Globales Förderband *oder thermohaline Zirkulation*

Die Strömungen der Meere transportieren große Mengen an Energie über den ganzen Planeten, wie beispielsweise der Golfstrom, der Wärme vom Äquator bis nach Nordeuropa transportiert. Sie werden angetrieben durch ein globales Förderband, auch thermohaline Zirkulation genannt.

Was ist die thermohaline Zirkulation?

„Thermo" steht für Wärme und „halin" steht für den Salzgehalt. Sowohl Salzgehalt als auch Temperatur beeinflussen die Dichte des Wassers. Weniger dichtes Wasser ist leichter als dichteres Wasser. Treffen Wassermassen unterschiedlicher Dichte aufeinander, entsteht ein Sog. **Dichteres Wasser fließt in Richtung des weniger dichten Wassers und erzeugt so große, ozeanumspannende Strömungen.**

Der Knotenpunkt dieses Förderbandes ist die Tiefenwasserproduktion an den Polen. Kaltes, wenig salzhaltiges Wasser ist dichter als warmes und salzigeres Wasser. Das Wasser nahe der Pole kühlt durch die kältere Atmosphäre, aber auch durch Schmelzwasser des Eises ab und sinkt in die Tiefe. Dort fließt es in Richtung Süden, bis es sich erwärmt und wieder an die Oberfläche aufsteigt. Dort fließt es wiederum zurück in Richtung der Pole, kühlt dort ab – das Förderband „dreht sich". Wie die Strömungen verlaufen, zeigt die Abbildung rechts.



Die vier **gelben** Punkte im Norden und Süden zeigen die Tiefenwasserbildung, **blaue** Linien zeigen Tiefenströmungen und **rote** Linien zeigen Oberflächenströmungen.

Klimawandel heute

Wenn sich die Erde weiterhin wie heute erwärmt, gibt es zwei mögliche Szenarien: eine Erwärmung des Oberflächenwassers oder geringere Salinität im Oberflächenwasser. Beides würde dazu führen, dass das Wasser an Dichte verliert und die Tiefenwasserbildung geschwächt wird. Computermodelle haben gezeigt, dass der anthropogene Einfluss bisher geringer ist als die natürliche Veränderung des Stroms. Nichtsdestotrotz zeigen die Berechnungen auch einen Trend zur Versüßung des Wassers, besonders im Nordatlantik, die durch anthropogene, also menschliche Einflüsse unterstützt wird. Sollte das globale Förderband geschwächt werden und die Tiefenwasserbildung aufhören, würde dies schwere Konsequenzen für das marine Ökosystem nach sich ziehen und auch eine Verschiebung der Klimazonen verursachen. Zwar ist es relativ unwahrscheinlich, dass die thermohaline Zirkulation ausfällt, falls es soweit kommt, hätte es aber dramatische Konsequenzen.

KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

5. Atmosphärische Zirkulation *oder Winde*

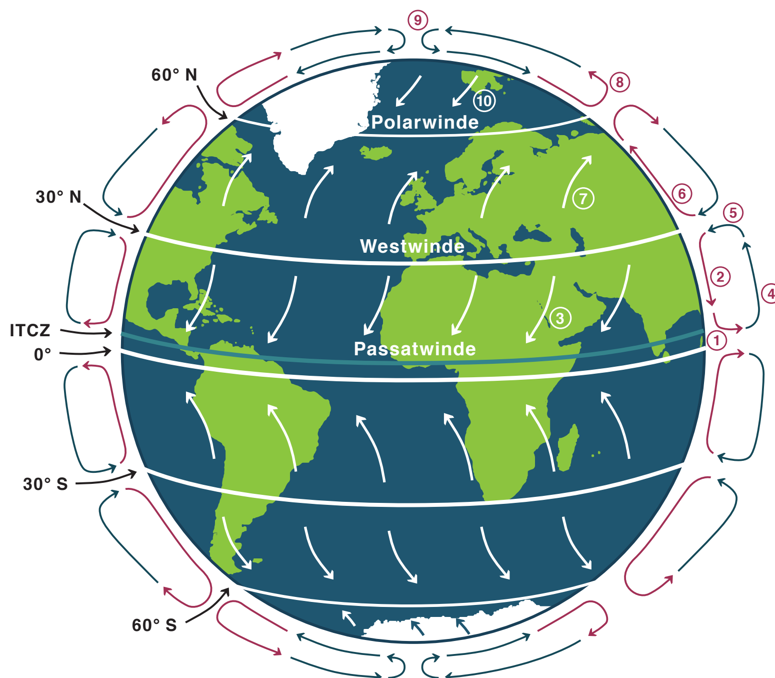
Was treibt die Zirkulation an?

Tiefdruckgebiet – erwärmte Luft steigt auf

Hochdruckgebiet – kältere Luft strömt Richtung Erde

Winde – Ausgleichsbewegungen der Luft; wenn beispielsweise ein Tiefdruckgebiet die Luft nach oben steigen lässt, muss Luft nachströmen, die dann als Wind empfunden wird

Corioliskraft – da die Erde sich dreht, werden Strömungen, die von oben nach unten verlaufen, abgelenkt; Nord-Süd-Bewegungen werden nach Westen und Süd-Nord-Bewegungen nach Osten gelenkt



Am Beispiel der Nordhalbkugel, lässt sich das mit Hilfe der Abbildung so erklären: Warme Luft am Äquator bei 0° (Breitengrad) steigt auf (1) und erzeugt ein Tiefdruckgebiet. Bodennah strömt kältere Luft aus nördlicheren Breiten nach (2), die wegen der Corioliskraft nach Westen abgelenkt wird – so entstehen die **Passatwinde** (3). Zeitgleich strömen die aufgestiegenen Luftmassen nach Norden (4), wo sie bei circa 30° Nord durch Platzmangel (die Erde ist an den Polen schmaler als am Äquator) zum Absinken gezwungen werden (5) und ein Hochdruckgebiet bilden.

Diese Luftmassen werden am Boden nach Norden getrieben (6), wo sie von Westen nach Osten abgelenkt werden (7) – die **Westwinde**. Sie erwärmen sich auf ihrem Weg so lange, bis sie wieder aufsteigen (8) und bei 60°N ein Tiefdruckgebiet bilden. In der polaren Luft kühlen sie schnell wieder ab und sinken wieder zu Boden (9), wo sie nach Süden drängen (10) – die **Polarwinde.**

Relativ stabil ist das System um den Äquator, wo sich eine große Tiefdruckrinne gebildet hat – die **ITCZ** oder auch Innertropische Konvergenzzone. Sie ist immer da, wo die Erde am wärmsten ist, also verschiebt sie sich leicht zwischen Sommer und Winter. Außerdem liegt sie nicht genau am Äquator, sondern circa 5° nördlich, da sich auf der Nordhalbkugel mehr Landmasse befindet, die sich schneller aufheizt. Im Bereich von Tiefdruckzonen werden durch die aufsteigende feuchte Luft von der Oberfläche häufig Wolken gebildet. Wenn die Luft stark genug abkühlt, kondensiert das Wasser und es regnet. Dies ist durch die Hitze rund um den Äquator besonders stark ausgeprägt.

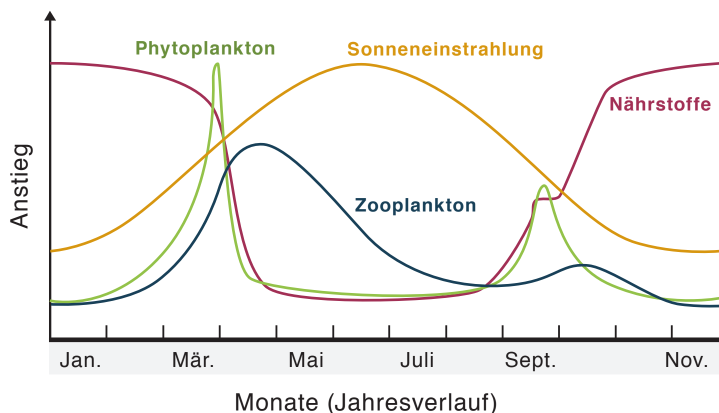
Winde und Hoch- und Tiefdruckgebiete haben auch direkten Einfluss auf die Nahrungskette im Meer. Beispielsweise treiben die Passatwinde die Wassermassen vor Nordafrika nach Westen. Um das fehlende Volumen auszugleichen strömt nährstoffreiches, kaltes Wasser aus der Tiefe nach. Es entsteht ein Auftriebsgebiet, das bekannt ist für seine Menge an Plankton und seinen Räubern, den Fischen. Hiervon profitieren auch die dort ansässigen Fischer.

Das gesamte System ist temperaturabhängig: Verändert sich die Temperatur, verändern sich unweigerlich auch Wind und Regen. Außerdem kommt es zu mehr extremen lokalen Phänomenen wie Dürre und Starkregen, die schwer vorhersehbar sind.

Klimawandel heute

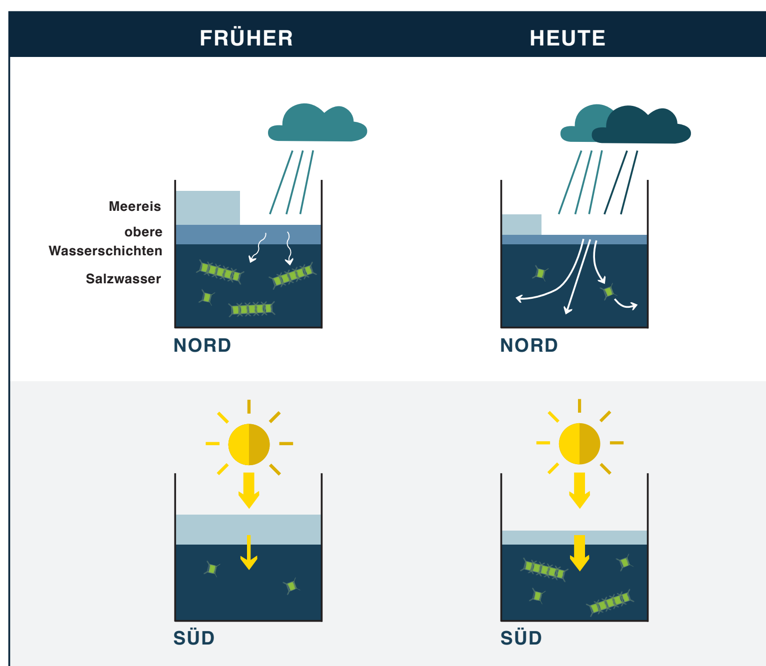
6. Organismen

Ein Klimawandel hat direkte Auswirkungen auf Organismen, die auf der Erde leben. Wenn sich das Klima längerfristig verändert, müssen sich Lebewesen anpassen. Es ändert sich die Nährstoffverteilung und damit auch die Nahrungskette. Sogar schon über einen Jahresverlauf kann man bereits Anpassungen sehen, wie beispielsweise an der Nordsee. Wie in der Abbildung rechts dargestellt, sorgen Herbststürme dafür, dass Wind und Regen Nährstoffe vom Land in den Ozean spülen. Diese Nährstoffe ermöglichen, dass in der Nordsee viel Phytoplankton (Photosynthese-betreibende Kleinstlebewesen) lebt. Vom Phytoplankton ernährt sich das Zooplankton, welches wiederum größeren Lebewesen wie Fischen als Nahrung dient. In der rechten Abbildung ist die Verteilung von Nährstoffen, Phytoplankton und Zooplankton über das Jahr zu sehen. Das Phytoplankton vermehrt sich jeweils während der Frühjahrs- und Herbststürme, daraufhin vermehrt sich auch das Zooplankton. Über allem steht die Sonne, die in den Sommermonaten die meiste Energie, zum Beispiel für Photosynthese liefert.



Warum ist das Phytoplankton wichtig?

Phytoplankton ist wichtig, um **Kohlenstoff** aus der Atmosphäre zu verarbeiten. Es nimmt den Kohlenstoff über Photosynthese auf. Das meiste Phytoplankton wird gefressen, aber ein kleiner Teil davon stirbt und sinkt zu Boden. Dort wird das Plankton vergraben und der aufgenommene Kohlenstoff verschwindet für 10-Tausende bis zu 100-Millionen von Jahren aus der Atmosphäre. **Die Organismen wirken wie eine so genannte biologische Pumpe, die den Kohlenstoff aus der Atmosphäre in die Tiefen des Meeresbodens transportiert.**



Prozesse der Energieverarbeitung und Gewinnung sind sehr regional. An unterschiedlichen Orten kann verändertes Klima ganz unterschiedliche oder sogar gegensätzliche Auswirkungen haben. So zum Beispiel in der Antarktis, wie links im Bild zu sehen. Im nördlichen Teil der Antarktis führt vermehrter Wind dazu, dass das Phytoplankton von den oberen Wasserschichten, in die das Sonnenlicht scheint, verdrängt wird. Es muss in tieferes Wasser ausweichen, wo ihm die Energie des Lichtes zum Leben fehlt. Ganz anders der Süden des Kontinentes. Dort ist das Meereis zurückgegangen und lässt somit mehr Sonnenlicht durch – das Phytoplankton vermehrt sich.

Klimawandel heute

Das Phytoplankton ist nur ein Beispiel für Klimaauswirkungen auf Organismen, es ist aber das unterste Glied der Nahrungskette und hat somit Auswirkungen auf das ganze System. Außerdem ist es wichtiger Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufs, der den Kohlenstoff aus der Atmosphäre holt und im Ozeanboden vergräbt.

7. Meeresspiegel

Küstenlinien verändern sich stetig, sei es durch Erosion, Sedimentation oder Meeresspiegelschwankungen. Dies sind immer regionale Phänomene. Da zahlreiche Faktoren eine Rolle spielen, steigt und sinkt der Meeresspiegel nicht überall auf der Welt im gleichen Maße.

Treibende Faktoren können sein:
Süßwasser – Veränderungen des Süßwasserkreislaufs in Grundwasser, Seen und Flüssen führt zu Veränderungen im Meeresspiegel. Regional kann hier vor allem Grundwasserentnahme zu Veränderungen führen.

Thermische Expansion – Wenn die Temperatur auf der Erde steigt, dehnt sich das Wasser aus und der Meeresspiegel steigt – warmes Wasser braucht mehr Platz als kaltes. Das Wasser erwärmt sich fast so schnell wie die Atmosphäre, Unterschiede im Meeresspiegel merkt man deshalb schon innerhalb weniger Monate.

Eis – Ob Wasser gefroren, flüssig oder in Gasform vorliegt beeinflusst den Meeresspiegel. Wenn das Eis auf den Kontinenten schmilzt, fließt es in das Meer und der Meeresspiegel steigt; Meereis, das bereits im Wasser liegt hat keine Einfluss, da es bereits ebenso viel Wasser verdrängt, wie flüssig hinzukommen würde, wenn es schmilzt.

Sedimentation – Der Meeresspiegel kann steigen, wenn beispielsweise Winde oder Wasser vermehrt Partikel von Land in das Meer tragen; außerdem kann Sediment regional auch kompakter, also zusammengedrückt werden und so den Meeresspiegel sinken lassen.

Isostasie – Es gibt regionale tektonische Phänomene, die entgegen des globalen Trends (momentan steigt der Meeresspiegel) wirken können. In Süd-Schweden beispielsweise sinkt der Meeresspiegel, weil sich die Landmasse langsam hebt, das kommt noch von der letzten Eiszeit vor 20 000 Jahren, als sich die letzten Gletscher zurückzogen drückten sie nicht mehr auf das Land und es konnte sich wieder heben.

Tektonische Veränderung – Das Fassungsvermögen von Ozeanbecken verändert sich
(a) wenn Kontinente zusammenstoßen, z.B. als Indien vor 50 Millionen Jahren mit dem Eurasischen Kontinent zusammengestoßen ist und den Himalaya geformt hat; oder
(b) an Spreizungszonen wie im Atlantik: hier tritt Magma aus und formt neuen Meeresboden, der langsam aber stetig die Platten auseinanderdrückt und den Atlantik immer größer werden lässt.

Was gibt es für Folgen?

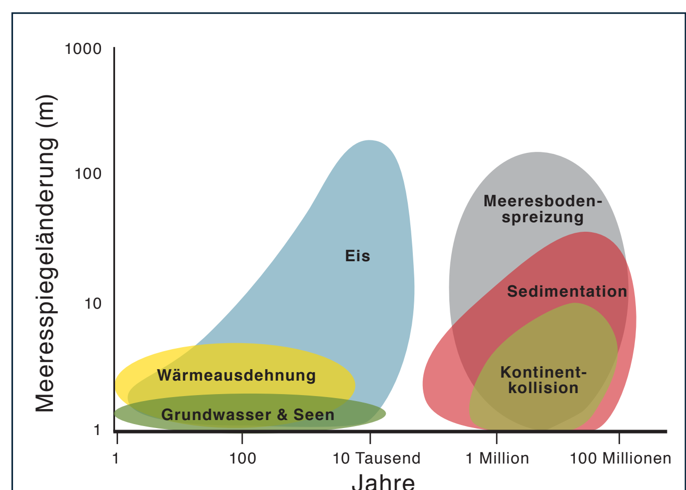
Sinkt der Meeresspiegel, fällt das Schelf vor der Küste der Kontinente teilweise trocken. Hier leben viele Organismen, die Stoffe filtern, die von Land in den Ozean geraten. Liegt das Schelf trocken, ist es anfällig für Erosion und wird abgetragen, wertvolle Pufferzonen gehen so verloren.

Steigt der Meeresspiegel, hat das heutzutage vor allem wirtschaftlich gravierende Folgen. Bei nur drei Metern Meeresspiegelanstieg sind Metropolen wie Hamburg oder Amsterdam kaum noch bewohnbar. Kleine Inselstaaten, beispielsweise die Malediven, könnten sogar komplett versinken.

Die Abbildung zeigt die Ursachen von Meeresspiegelveränderungen und die Zeitskalen auf denen sie wirken. Auf der linken Achse ist die Ausprägung der Schwankungen zu sehen, auf der unteren Achse die Zeitskala. Thermische Expansion hat relativ gesehen, einen kleineren Einfluss auf die Höhe des Meeresspiegels von 5 Metern, geschieht jedoch recht schnell, wenn die Erde sich erwärmt. Das Schmelzen des Eises (zum Beispiel in der Antarktis und Grönland) macht einen Unterschied von bis zu 100 Metern, setzt aber verzögert ein.

Klimawandel heute

Für den heutigen Klimawandel ist die thermische Expansion die mit der Temperatur einhergeht sehr viel gravierender, als das relativ dazu langsam schmelzende Eis. Tektonische Veränderungen sind heute zu vernachlässigen, da sie über mehrere 100 Millionen Jahre wirken – wir werden also nicht erleben, wie sich der Meeresspiegel durch die Kollision von Kontinenten verändert.



8. Reflektion der Sonnenenergie *oder Albedo*

Die Albedo beschreibt die Fähigkeit einer Oberfläche die Sonnenergie zu reflektieren, und hängt von deren Helligkeit ab. Frischer Schnee ist fast weiß und reflektiert somit am meisten Sonnenenergie auf der Erde. Im Gegensatz dazu steht Asphalt, der die meiste Energie absorbiert.

Wie wird die Albedo gemessen?

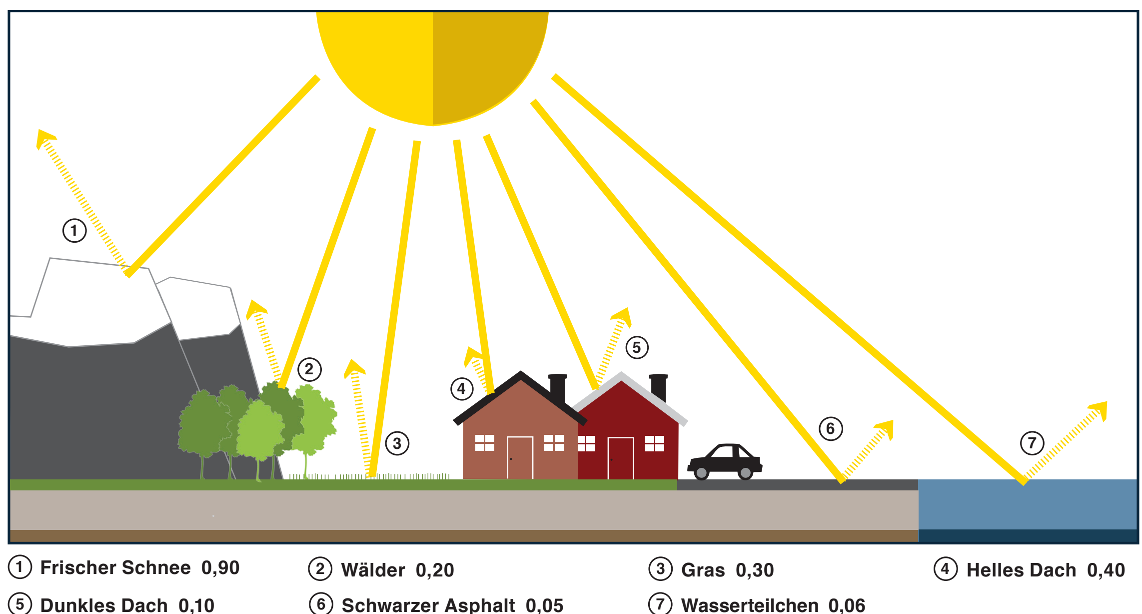
Die Albedo wird mit Werten von 0 bis 1 angegeben, **wobei 1 bedeutet, dass die Oberfläche 100% der Sonneneinstrahlung reflektiert (also weiß ist) und 0, dass sie 0% reflektiert (also 100% absorbiert und schwarz ist)**. Die absorbierte Hitze erwärmt dann die Oberfläche.

Wenn man ein schwarzes T-Shirt in der Sonne trägt, wird einem auch schneller warm, da der Stoff die Hitze absorbiert, als wenn man ein weißes Shirt trägt. Natürlich hängt die absorbierte Energie der Erde nicht nur von der Oberfläche ab, sondern auch von Wolken in der Atmosphäre. Je mehr Wolken es gibt, desto weniger Sonnenstrahlung erreicht die Erde.

Oberfläche	Albedo (Durchschnitt)
Asphalt	0,05
Ozean	0,06
Grasflächen	0,30
Eis	0,70
Frischer Schnee	0,90
Gesamte Erdoberfläche	0,30

Klimawandel heute

Schnee hat die höchste Albedo. Wenn also frischer Schnee auf dem zugefrorenen Ozean liegt, wirkt er kühlend, da er die Energie fast vollständig reflektiert. Da Schnee aber auch strukturell anfälliger ist als Eis, schmilzt er schneller, wenn die allgemeine Temperatur steigt. Sobald der Schnee schmilzt, bilden sich Schmelzwasserseen, die dunkler sind und nur noch eine Albedo von 0,2 haben. Sie absorbieren mehr Energie und beschleunigen das Schmelzen – das funktioniert wie ein Dominoeffekt. Wenn also Eis schmilzt und der Meeresspiegel steigt, hat das auch maßgebliche Folgen auf die Energiebilanz der Erde, sie wird immer wärmer. In der Abbildung rechts ist die unterschiedliche Reflektionsfähigkeit von der Erdoberfläche zu sehen.



9. Technische Klimaanpassung

Der heutige Klimawandel wird durch anthropogene Einflüsse weiter angetrieben. Menschen brachten und bringen im Übermaß Kohlenstoff in die Atmosphäre, nun versucht man das System künstlich zu regulieren:

Was ist eine technische Klimaanpassung?

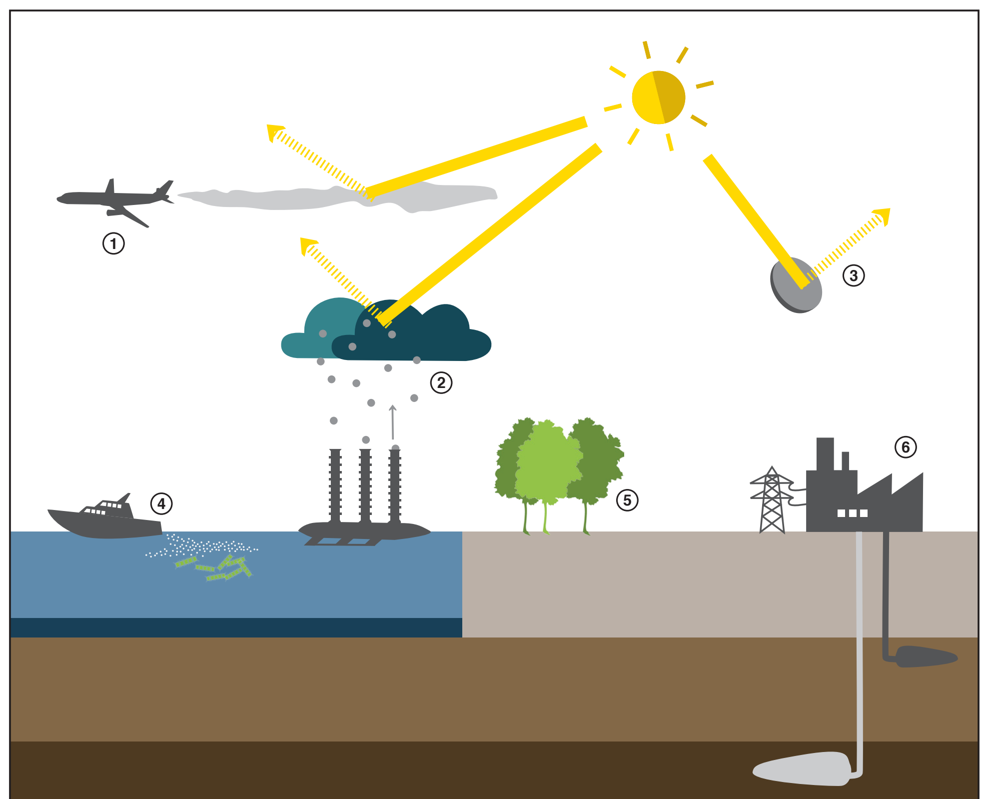
Häufig wird für **technische Klimaanpassung** der englische Begriff **„Climate Engineering“** verwendet. Er beschreibt die künstliche Veränderung des Klimas auf der Erde durch menschliche Eingriffe. Anstatt den CO_2-Austoß anzupassen um die Temperatur niedrig zu halten und etwas am Verhalten der Gesellschaft zu ändern, versucht man hierbei die ausgestoßenen Gase wieder einzufangen oder einen Teil der Sonnenenergie nicht auf die Erdoberfläche zu lassen. Das Thema ist sehr umstritten – das Klimasystem ist komplex und man weiß nicht, welche Langzeitfolgen ein technischer Eingriff hätte.

Es gab beispielsweise bereits Eisen-Düngungs-Experimente im Ozean. Forscher hofften, dass durch das Eisen mehr Algen wachsen würden, die dann Kohlenstoff aus der Atmosphäre binden und ins Meer bringen. es kam aber nicht zur gewünschten Algenvermehrung. Dadurch erkannten die Forscher, dass das Nahrungssystem so komplex und regional so unterschiedlich ist, dass es keine schnelle günstige Lösung für das Problem gibt.

Eine weitere Möglichkeit nennt sich CCS – Carbon Dioxide Capture and Storage. Dabei will man Kohlenstoffdioxid „einfangen“, um es dann in tiefen Schichten der Erde zu lagern. Aber die Lagerung ist risikoreich: Durch tektonische Aktivität könnten Risse in der Erdkruste entstehen, die das CO_2 wieder in entweichen lassen. Das kann den Organismen schaden: Aus Studien weiß man bereits, dass Organismen, die nicht an einen erhöhten CO_2-Gehalt angepasst sind und plötzlich damit konfrontiert werden, kleiner sind, weniger Nachkommen bekommen und früher sterben. Ein Vorteil wäre aber, dass man aus gespeichertem Kohlenstoff wieder Energie gewinnen könnte.

Klimawandel heute

Die Abbildung zeigt verschiedene Möglichkeiten des Climate Engineering. Neben Eisendüngung und dem Einfangen und Vergraben von Kohlenstoff gibt es auch andere Möglichkeiten. Man könnte die Sonnenenergie mit Spiegeln oder künstlichen Wolken bereits in der Atmosphäre wieder in das Weltall lenken, so dass sie gar nicht erst zur Erdoberfläche gelangt. Bei diesen beiden Optionen bleibt aber der hohe CO_2-Gehalt in der Atmosphäre bestehen und es ist nicht klar, was dieser trotz einer geringeren Temperatur für Auswirkungen hätte.



① Reflektierende Aerosolpartikel ② Aufhellen von Wolken über dem Ozean ③ Weltraumspiegel
④ Eisendüngung ⑤ Großflächige Aufforstung ⑥ Bioenergieerzeugung mit CO_2-Speicherung

KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

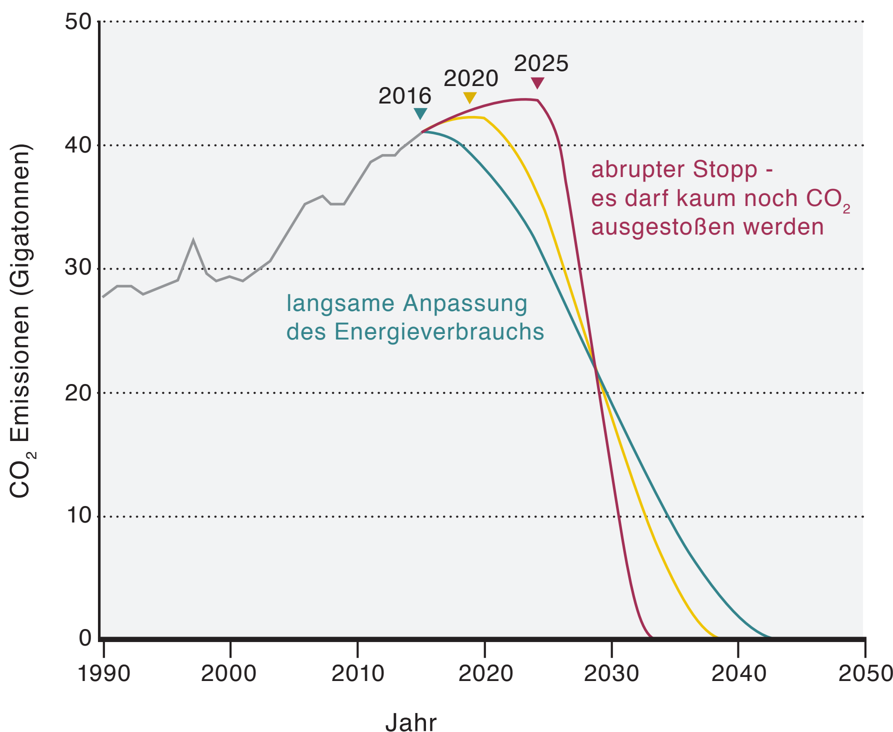
10. Klimaziele

An Klimazielen scheiden sich die Geister. Natürlich gibt es das Pariser Klimaabkommen, dass eine Erwärmung von unter 2° im Vergleich zu vorindustriellen Werten zum Ziel hat. Aber die klimatischen Veränderungen sind komplex und wann es „zu" warm – unumkehrbar, systemändernd warm – wird, weiß man nicht. Da wir aber bereits jetzt Veränderungen im Klimasystem beobachten, ist es zweifelsohne ratsam, den anthropogenen Einfluss zu minimieren.

Was gibt es für Möglichkeiten?

Climate Mitigation – verfolgt das Ziel, den Klimawandel abzuschwächen. Dies passiert vor allem durch die Reduzierung des anthropogenen, also menschlich verursachten Kohlenstoffausstoßes. Dazu gehört zum Beispiel die Energiegewinnung durch alternative, nicht-fossile Quellen wie Solar- oder Windenergie.

Climate Adaptation – obwohl das klare Ziel die Verminderung des Kohlenstoffausstoßes ist, wird das Klima sich unausweichlich verändern. Um für diese Veränderungen gewappnet zu sein, muss die Infrastruktur angepasst werden. Städte könnten zum Beispiel grüner werden. Parks, Wiesen und Wälder wirken wie natürliche Wasserauffangbecken und schützen (im Gegensatz zu asphaltierten Oberflächen) vor Überschwemmungen bei starkem Regen. Man kann frühzeitig Küstenschutz betreiben und die Küste mit Buhnen, Wellenbrechern und künstlichen Riffen erweitern und stabilisieren, um dem Anstieg des Meeresspiegels gewachsen zu sein.



Es gibt unzählige Möglichkeiten, wie sich urbane Gebiete auf den Klimawandel vorbereiten und ihm entgegenwirken können. Schwierig dabei ist vor allem, dass viele Interessensgemeinschaften aus Politik und Wirtschaft langfristig an einem Strang ziehen müssen. Wenn Legislaturperioden kurz sind und Regierungen und Programme häufig wechseln, ist es sehr schwierig, solche Projekte langfristig durchzusetzen und am Laufen zu halten.

Prognosen gehen davon aus, dass wir nur noch **600 Gt Kohlenstoff** ausstoßen dürfen, um die Erderwärmung bei 2° zu drosseln. Die Abbildung links zeigt, welche Szenarien möglich sind. Wenn der Höhepunkt des Ausstoßes jetzt erreicht wäre und wir bereits CO_2-freie Alternativen der Energiegewinnung nutzen würden, hätte das Wirtschaftssystem noch genug Zeit den Kohlenstoffeintrag auf 0 zu bringen und auf Veränderungen des Klimas zu reagieren. Sollte der Höchststand erst 2025 erreicht sein, wäre es zu spät, die Infrastruktur wäre nicht in der Lage ihren Verbrauch schnell genug umzustellen und viele Menschen würden ungeschützt unter den Klimafolgen leiden.

Klimawandel heute

2018

KLIMAWANDEL #KURZERKLÄRT

Daten stammen aus folgenden Quellen

Earth System Knowledge Platform	www.eskp.de
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung	www.pik-potsdam.de
Bildungsserver für Klimawandel	www.wiki.bildungsserver.de/klimawandel
Astronomical Applications Dpt. of the US Naval Observatory	www.aa.usno.navy.mil
Denning Research GroupCarbon, Climate, Water & Ecosystems	www.biocycle .atmos.colostate.edu
Yale Environment 360	www.e360.yale.edu
Skeptical Science – getting sceptical about skepticism	www.skepticalscience.com
School of Ocean and Earth Science and Technology, Hawaii	www.soest.hawaii.edu
Meereisportal des Alfred-Wegener-Instituts Bremerhaven	www.meereisportal.de
European Environmental Agency	www.eea.europa.eu
Global Carbon Project	www.globalcarbonproject.org
United States Environmental Protection Agency	www.epa.gov
National Science Foundation	www.nsf.gov
National Oceanic and Atmospheric Administration	www.noaa.gov
Intergovernmental Panel on Climate Change	www.ipcc.ch
United States Geological Service	www.usgs.gov
Data Publisher for Earth & Environmental Science	www.pangaea.de
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit	www.cen.uni-hamburg.de
Deutsches Klimarechenzentrum	www.dkrz.de
Climate Service Center - GERICS	www.climate-service-center.de
National Snow and Ice Data Center	www.nsidc.org
GeoForschungsZentrum Potsdam	www.gfz-potsdam.de
Current, Wind, Ocean and Pollution Conditions	www.earth.nullschool.net

